



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 44 16 988 A 1

51 Int. Cl.⁶:
G 03 F 7/20
B 29 C 39/42
G 03 C 9/08

21 Aktenzeichen: P 44 16 988.4
22 Anmeldetag: 13. 5. 94
43 Offenlegungstag: 16. 11. 95

DE 44 16 988 A 1

71 Anmelder:
EOS GmbH Electro Optical Systems, 82152 Planegg,
DE

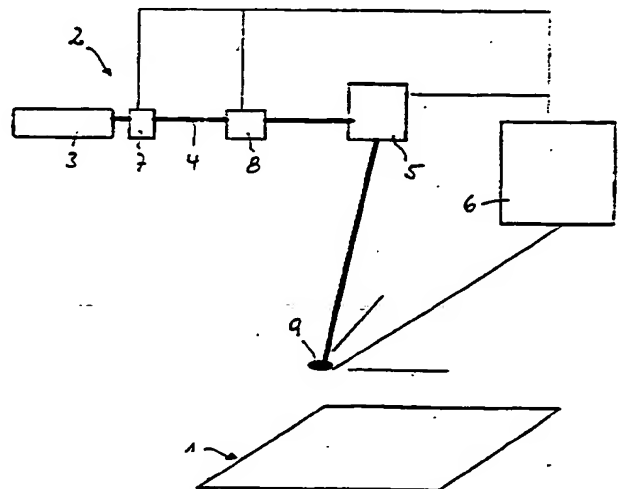
74 Vertreter:
Prüfer und Kollegen, 81545 München

72 Erfinder:
Serbin, Jürgen, 82166 Gräfelfing, DE; Reichle,
Johannes, 81375 München, DE; Langer, Hans J., Dr.,
82166 Gräfelfing, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts

57 Bei der Herstellung eines Objekts durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von Materialschichten 1 an den jeweiligen dem Objekt entsprechenden Stellen mittels eines gebündelten Lichtstrahls tritt das Problem auf, daß sich die Qualität des Lichtstrahls, z. B. seine Leistung oder Bündelung, durch Alterung, Defekte oder Dejustierungen, verändert. Dieses Problem wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß oberhalb der zu verfestigenden Materialschicht ein positionierbarer Sensor 9 vorgesehen ist, mittels dessen die Position, die Leistung und/oder der Durchmesser des Lichtstrahls gemessen und mit Referenzwerten verglichen wird.



DE 44 16 988 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 95 508 046/341

6/34

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 9.

Eine derartige Vorrichtung bzw. ein derartiges Verfahren ist unter dem Begriff "Stereographie" bekannt und kann, wie beispielsweise in der EP-A-0 171 069 beschrieben, durch schichtweises Verfestigen eines flüssigen, photopolymerisierbaren Materials mittels eines gebündelten Laserstrahls erfolgen. Ebenso kann dieses Verfahren auch durch Sinterung von Pulver mittels des Laserstrahls durchgeführt werden (siehe EP-A-0 287 657). In allen Fällen tritt das Problem auf, daß beispielsweise durch Erschütterungen, Alterung des Lasers oder sonstige Einwirkungen eine Dejustierung des Strahls oder eine Verschlechterung der Strahlqualität und stattfindet und damit die Herstellungsgenauigkeit verschlechtert wird.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine konstante Qualität bei der Herstellung des Objekts sicherzustellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 9 gelöst.

Erfindungsgemäß wird der zur Verfestigung verwendete Strahl möglichst unmittelbar über der Oberfläche der Materialschicht, also unmittelbar vor der Einwirkung auf das Material, vorzugsweise an einer Mehrzahl von über die Schicht verteilten Stellen gemessen und mit Referenzwerten verglichen. Damit kann eine eventuelle Verstaubung oder Dejustierung der Optik, ein Defekt der optischen oder elektronischen Komponenten zur Einstellung des Strahls und eine Strahländerung aufgrund von Alterungserscheinungen festgestellt, angezeigt und gegebenenfalls korrigiert werden.

Die Erfindung wird im weiteren anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug auf die Figuren beschrieben. Von den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung;

Fig. 2 eine perspektivische, schematische Darstellung einer Positioniervorrichtung für einen erfindungsgemäßen Sensor;

Fig. 3 eine Darstellung einer ersten Ausführungsform des Sensors; und

Fig. 4 eine Darstellung einer zweiten Ausführungsform des Sensors.

Die Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Fig. 1 zeigt eine Schicht 1 eines mittels elektromagnetischer Strahlung verfestigbaren Materials, beispielsweise einer polymerisierbaren Flüssigkeit oder Paste oder eines sinterbaren Pulvermaterials, sowie eine über dieser Schicht 1 angeordnete Vorrichtung 2 zum Verfestigen des Materials der Schicht 1 an dem herzustellenden Objekt entsprechenden Stellen. Die Verfestigungsvorrichtung 2 weist eine Strahlungsquelle 3 in Form eines Lasers auf, die einen gebündelten Lichtstrahl 4 auf eine Ablenkeinrichtung 5 richtet, mittels der der Lichtstrahl 4 auf die gewünschten Stellen der Schicht 1 abgelenkt werden kann. Zu diesem Zweck ist die Ablenkeinrichtung mit einer Steuereinheit 6 zur entsprechenden Steuerung der Ablenkeinrichtung 5 verbunden.

Zwischen der Strahlungsquelle 3 und der Ablenkeinrichtung 5 ist im Lichtstrahl 4 nacheinander ein Modulator 7 und eine variable Fokuseinheit 8 angeordnet, die

ebenfalls mit der Steuereinheit 6 verbunden sind. Der Modulator kann beispielsweise als akusto-optischer, elektro-optischer oder mechanischer Modulator ausgebildet sein und dient als "Schalter" zum Durchschalten bzw. Unterbrechen des Strahls 4. Die variable Fokuseinheit 8 dient dazu, die Bündelung des Strahls 4 zu verändern.

Zwischen der Ablenkeinrichtung 5 und der Schicht 1 ist ferner ein Sensor 9 angeordnet, der mittels der in Fig. 2 näher dargestellten Positioniervorrichtung 10 in einer Ebene parallel zu und vorzugsweise unmittelbar oberhalb der Schicht 1 an jede Stelle oberhalb der Schicht 1 verschoben werden kann. Die Positioniervorrichtung 10 ist als x,y-Positioniervorrichtung ausgebildet, wobei der Sensor 9 in einer ersten X-Richtung entlang der Oberseite eines sich in X-Richtung über die Schicht 1 erstreckenden Abstreifers 11 verschiebbar ist, der wiederum in Y-Richtung über die Schicht 1 zum Einstellen einer gewünschten Schichtdicke des Materials verschoben werden kann. Gemäß einer anderen Ausführungsform kann der Sensor 9 aber auch unabhängig vom Abstreifer positioniert werden. Der Ausgang des Sensors ist mit der Steuereinheit 6 verbunden.

Eine erste Ausführungsform des Sensors 9 ist in Fig. 3 dargestellt. Der Sensor 12 nach Fig. 3 ist als Quadranten-sensor mit einer in jedem Quadranten angeordneten lichtempfindlichen Element in Form einer Photodiode 12, 13, 14, 15 ausgebildet. Die Photodiode 15 eines Quadranten ist mittels einer strahlungsundurchlässigen Abdeckung, beispielsweise eines Metallplättchens 16, abgedeckt, in deren Mitte sich eine Blendenöffnung 17 befindet. Gemäß einer in Fig. 4 gezeigten zweiten Ausführungsform ist der Sensor 9 als Einzelsensor mit nur einem einzigen Feld ausgebildet, wobei in dem Feld ein lichtempfindliches Element in Form einer Photodiode 18 angeordnet ist, die wiederum mit einer strahlungsundurchlässigen Abdeckung, beispielsweise einem Metallplättchen 19, bis auf eine zentrale Blendenöffnung 20 abgedeckt ist. Der Durchmesser der Blendenöffnungen 17, 20 ist etwa 20 bis 50 µm, vorzugsweise etwa 35 µm.

Im Betrieb wird zunächst der Laserstrahl 4 bezüglich seiner Position, Leistung und seines Durchmessers gemessen. Die Positionsbestimmung erfolgt dabei beispielsweise mittels des in Fig. 3 gezeigten Sensors 9 dadurch, daß der Sensor 9 an einer bestimmten definierten X,Y-Stelle positioniert wird und die Ablenkeinrichtung 5 von der Steuereinheit 6 so gesteuert wird, daß der abgelenkte Strahl 4 den Sensor 9 überstreicht und dabei vom Feld der Photodiode 12 zu dem der Photodiode 13 wandert. Dabei werden die von beiden Photodioden abgegebenen Ausgangssignale verglichen; bei Gleichheit entspricht die Position des Strahls 4 genau dem Übergang zwischen den beiden Photodiodenfeldern und damit der Mittenposition des Sensors 9. Dieselbe Messung wird auch für den Übergang von der Photodiode 12 zur Photodiode 14 vorgenommen. Durch Vergleich der erhaltenen Positionsdaten mit der entsprechenden Positionsvorgabe für die Ablenkeinrichtung 5 wird festgestellt, ob die Steuerung für den Strahl 4 korrekt ist oder ob eine Dejustierung vorliegt. Im letzteren Fall wird eine Korrektur der Steuerung in der Steuereinheit 6 oder auch eine Neujustage der Vorrichtung vorgenommen.

Die beschriebene Positionsmessung wird durch Verfahren des Sensors 9 an über die Schichtoberfläche verteilte Positionen mittels der Positioniervorrichtung 10 an beliebigen Stellen innerhalb des Belichtungs-feldes vorgenommen, so daß die Positioniergenauigkeit der

Verfestigungsvorrichtung 2 exakt bestimmbar ist. Ebenso ist es allerdings auch möglich, nur an ausgewählten Punkten, beispielsweise an 2 Punkten, zu messen, um eine globale Drift beispielsweise aufgrund von Temperaturänderungen festzustellen. Diese kann wiederum durch entsprechende Korrektur der Steuereinheit 6 bzw. der darin gespeicherten Steuersoftware kompensiert werden.

Die Leistung des Strahls 4 wird durch direkte Auswertung der Ausgangssignale der Photodioden 12, 13 und 14, deren Amplitude der Leistung entspricht, vorgenommen. Durch Vergleich mit Sollwerten kann wiederum ein Fehler in der Verfestigungsvorrichtung 2 festgestellt werden, beispielsweise eine Verstaubung der Optik, eine Alterung oder auch ein Ausfall von optischen oder elektronischen Komponenten.

Für die Messung des Durchmessers bzw. des Fokus des Strahls 4 wird die Ablenkeinrichtung 5 und/oder die Positioniervorrichtung 10 so gesteuert, daß der abgelenkte Strahl 4 die Blendenöffnung 17 des Sensors nach Fig. 3 oder die Blendenöffnung 20 des Sensors nach Fig. 4 in zwei Koordinatenrichtungen überstreicht. Dadurch wird das Intensitätsprofil des Strahls 4 abgetastet und aus den gewonnenen Intensitätsdaten des Profils der Fokus bzw. Durchmesser der Strahls 4 berechnet. Diese Messung kann im gesamten Belichtungsfeld oder auch nur an ausgewählten Punkten, beispielsweise in Verbindung mit der Leistungsmessung, durchgeführt werden. Durch Vergleich mit entsprechenden Sollwerten kann wiederum eine Abweichung beispielsweise aufgrund der Alterung des Lasers oder einer Dejustage des optischen Systems festgestellt werden. In diesem Fall kann in gewissem Rahmen eine Korrektur durch Veränderung des Fokus mittels Ansteuerung der variablen Fokuseinheit 8 über die Steuereinheit 6 vorgenommen werden.

Bei Verwendung des in Fig. 4 gezeigten Sensors 9 wird die Position und Leistung des Strahls 4 aufgrund von Berechnungen ermittelt, und zwar die Position durch Bestimmung des Intensitätsmaximums und die Leistung durch Integration des Profils. Derartige Rechenverfahren sind bekannt, so daß sie hier nicht näher erläutert werden müssen.

Nach der Einstellung und Messung des Strahls 4 wird eine Materialschicht 1 aufgetragen und durch gezieltes Bestrahlen der Schicht 1 mittels des abgelenkten Strahls 4 an den dem Objekt entsprechenden Punkten in der üblichen Weise verfestigt.

Die Messung des Strahls in der oben beschriebenen Weise kann vor der Herstellung eines Objekts, aber auch zwischen der Verfestigung einzelner Schichten oder auch in größeren Abständen, z. B. tageweise, vorgenommen werden. Festgestellte Abweichungen von zulässigen Werten können auch auf einer Anzeigevorrichtung dargestellt werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Herstellung eines dreidimensionalen Objekts durch aufeinanderfolgendes Verfestigen von Schichten eines durch Einwirkung elektromagnetischer Strahlung verfestigbaren Materials, mit einer Vorrichtung zum Erzeugen einer Schicht (1) des Materials, einer Strahlungsquelle (3) zur Erzeugung eines gebündelten Strahls (4) der elektromagnetischen Strahlung und einer Ablenkeinrichtung (5) zum Ablenken des gerichteten Strahls (4) auf dem Objekt entsprechende Stellen

der Schicht (1), dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Ablenkeinrichtung (5) und der Schicht (1) ein Sensor (9) zur Messung des Strahls (4) angeordnet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (9) mit einer Positioniervorrichtung (10) zum Positionieren des Sensors an einer Mehrzahl von Stellen in einer Ebene parallel zur Schicht (1) verbunden ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Positioniervorrichtung (10) als x,y-Positioniervorrichtung ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine sich in einer ersten Richtung (X) quer über die Schicht (1) erstreckende und in einer zweiten Richtung (Y) über die Schicht (1) verfahrbare Abstreifvorrichtung (11) vorgesehen ist und daß der Sensor (9) an der Abstreifvorrichtung (11) in der ersten Richtung (X) verschiebbar angeordnet ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (9) zur Messung der Position, der Leistung und/oder des Durchmessers des Strahls (4) ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (9) als Quadrantendetektor mit mindestens drei Detektorsektoren (12, 13, 14) ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Sensor (9) einen Einzeldetektor mit einer bis auf eine Blendenöffnung (20) strahlungsundurchlässig abgedeckten, strahlungsempfindlichen Detektorfläche (18) aufweist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Einzeldetektor in einem der Quadranten angeordnet ist.

9. Verfahren zum Herstellen eines dreidimensionalen Objekts, bei dem aufeinanderfolgende Schichten eines durch elektromagnetische Strahlung verfestigbaren Materials aufgetragen und durch Bestrahlung mittels eines gebündelten Strahls an den dem Objekt entsprechenden Stellen der Schichten verfestigt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Position, die Leistung und/oder der Durchmesser des Strahls an einer Stelle vorzugsweise unmittelbar oberhalb der zu verfestigenden Schicht gemessen wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßergebnis mit vorgegebenen Referenzwerten verglichen wird und aufgrund des Vergleichs eine Fehleranzeige oder Korrektur des Strahls vorgenommen wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung an einer Mehrzahl von Stellen oberhalb der Materialschicht vorgenommen wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

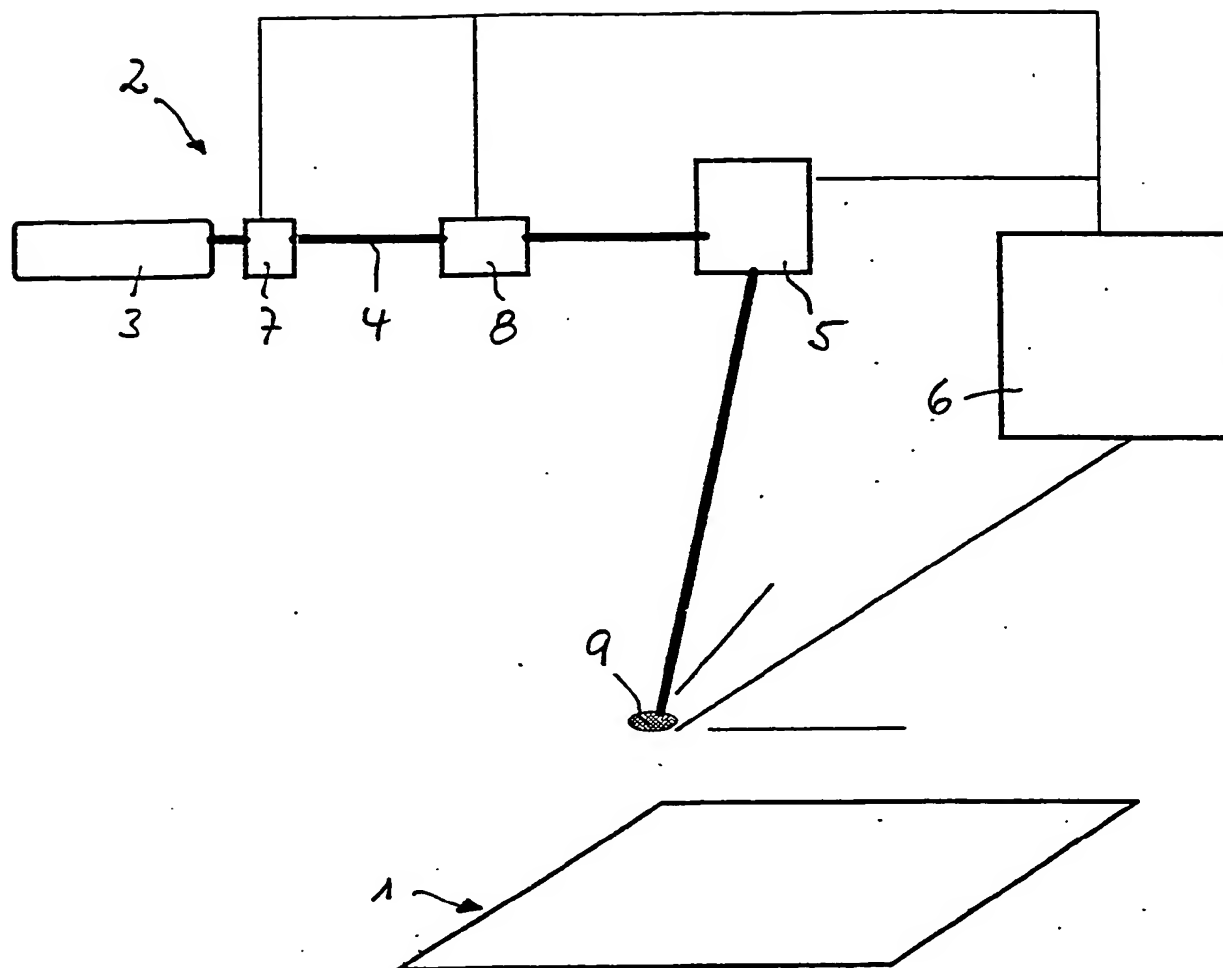


Fig. 1

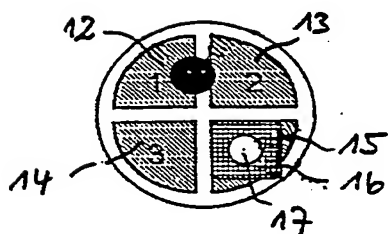
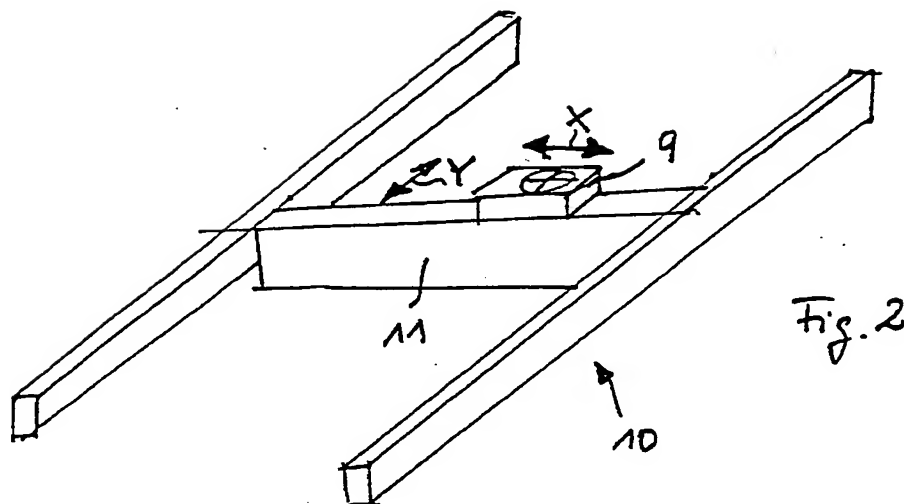


Fig. 3

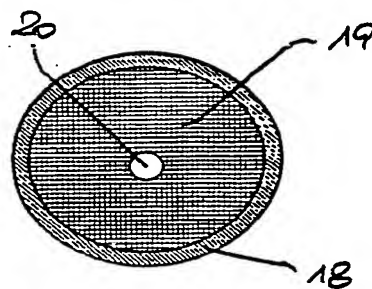


Fig. 4

INVENTOR: Leonardus TEEUWEN *et al.*
MATTER NO.: 306350
CLIENT REF.: P-0384.010-US
FILED: November 5, 2003
TITLE: LITHOGRAPHIC APPARATUS AND METHOD ...

PILLSBURY WINTHROP LLP
MCLEAN, VIRGINIA

508 046/341